

ЧАСТЬ V. «ИНЖЕНЕРНАЯ МЫСЛЬ»



УДК 623.565.23

ББК 24.54

**А. Ю. Сорокин,
Р. А. Файрузов**
**АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД
К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИЗБЫТОЧНОГО
ДАВЛЕНИЯ ВО ФРОНТЕ ВОЗДУШНОЙ
УДАРНОЙ ВОЛНЫ**

*РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОЦИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ МИФИ
Г. МОСКВА*

Аннотация: В данной работе предложен альтернативный подход к определению избыточного давления во фронте воздушной ударной волны. Рассмотрена модель распространения воздушной ударной волне в аналогии с распространением волн на воде. Приведены некоторые теоретические закономерности.

Ключевые слова: воздушная ударная волна, избыточное давление, распределение энергии.

ВВЕДЕНИЕ

Поражающими факторами воздушной ударной волны, являются избыточное давление во фронте P , импульс фазы сжатия i и длительность положительной фазы сжатия τ [1]. М. А. Садовский, был первым исследователем взрывных процессов, которому удалось вывести закономерность избыточного давления во фронте ударной волны от расстояния до взрыва. Его расчёты были основаны на результатах эмпирических исследованиях, в связи с чем, в общем виде выведенные им зависимости выглядят так [4]:

$$P_j = a_1 \frac{m}{R^3} + a_2 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R^2} + a_3 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{R}, \text{ где:} \quad (10)$$

m — масса заряда в тротиловом эквиваленте в кг;

R — расстояние от места взрыва до фронта ударной волны в м;

$a_{1,2,3}$ — безразмерные коэффициенты, подставляются в соответствие с таблицей 2.

Таблица 2 – Коэффициенты к формуле Садовского

Условия использования коэффициентов	a_1	a_2	a_3
Взрыв в неограниченном пространстве (сферический, в воздухе)	7	2.7	0.84
Взрыв в пространстве ограниченном с одной стороны (полусфера, на земле)	14	4.3	1.1
Взрыв в штольне — тоннеле с распространением ВУВ в обе стороны	44	9.2	1.46
Взрыв в тупиковой штольне — тоннеле с распространением ВУВ в одну сторону	88	14.6	1.81

Примечание — для тоннелей, к значению R , необходимо подставить площадь поперечного сечения тоннеля S . Формула приобретает следующий вид [3]:

$$P_j = a_1 \frac{m}{SR} + a_2 \left(\frac{m}{SR} \right)^2 + a_3 \left(\frac{m}{SR} \right)^3$$

Фактически, построение зависимости основано на простом допущение, в котором, значение избыточного давления должно быть обратно пропорционально расстоянию от места взрыва. Само собой разумеется, что расстояние в данном случае используется приведённое. Далее, Садовский М. А. методом переборочных различных коэффициентов, добился того, что бы его математическая закономерность сходилась с многочисленными результатами экспериментов.

Вместе с этим стоит отметить, что достоверность данной закономерности, по хорошему счёту определяет валидностью эмпирических данных. Отсутствие теоретического обоснования данной закономерности, от части создаёт необходимость рассмотреть альтернативные подходы к решению данной задачи.

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ПОДХОД

Наблюдения за распространением волн на воде и сравнение их с распространением воздушно ударных волн, позволили создать теоретическую модель, описывающую распространение энергии взрыва. Когда мы кидаем камень в озеро, создаваемое водоизмещение проявляется в исходящей волне. Чем дальше волна уходит от центра, тем амплитуда её становится ниже, так как длина волны становится больше при неизменном водоизмещении, которое остаётся эквивалентным водоизмещению созданном в центре при падении камня. Таким образом, волна распространяется до тех пор, пока не рассеется по всей поверхности.

Говоря об энергии в данном процессе, следует сказать, что кинетическая энергия камня, передаётся волне. При этом количество энергии на единицу длины волны уменьшается вместе с её расширением. Аналогичный процесс, происходит и с давлением при расширении сферы воздушной ударной волны. Графически, это возможно представить следующим образом (Рисунок 6)

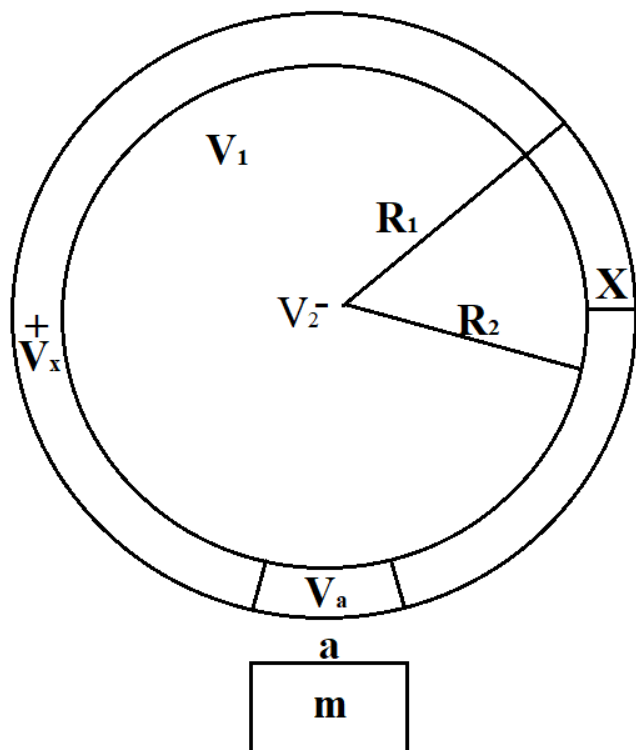


Рисунок 6 – Графическое представление распределения водоизмещения

После падения камня в воду и удаления волны на некоторое расстояние R_1 , на поверхности возникает зона положительного водоизмещения «+» и отрицательного «-». Соответственно к положительной зоне относится область шириной X , и объёмом V_x , а к отрицательной области шириной R_2 и объёмом V_2

Предположим, что камень при падении в воду с плотностью ρ создал водоизмещение V_x и вызвал волну идущую со скоростью v . При этом кинетическая энергия, которая передается волне равняется E . Тогда энергия E_a , которая может быть передана участком волны, длиной a с объёмом V_a , будет определяться следующим образом:

$$E = \frac{V_x \rho v^2}{2} \quad (11)$$

$$E_a = \frac{V_a p v^2}{2} \quad (12)$$

$$V_1 = \pi R_1^2 \quad (13)$$

$$V_2 = \pi R_2^2 \quad (14)$$

$$V_x = \pi R_1^2 - \pi R_2^2 \quad (15)$$

$$X(R_1) = \frac{\pi R_1^2 - V_x}{2 \pi R_1} \quad (16)$$

$$V_a(R_1) = \frac{\pi R_1^2 - V_x}{2 \pi R_1} a \quad (17)$$

$$E_a = \frac{\left(\frac{\pi R_1^2 - V_x}{2 \pi R_1} a \right)_a p v^2}{2} \quad (18)$$

Адаптируя процесс с плоскости в объем, формула 18 приобретает следующий вид:

$$E_a = \frac{\left(\frac{\pi R_1^3 - V_x}{3 \pi R_1^2} a \right)_a p v^2}{2} \quad (19)$$

После того, как определена энергия участка волны вступающего во взаимодействие E_a , возможно перейти к расчёту давления. По условию задачи известно, что воздушная ударная волны представляет с собой движущийся фронт в газообразном состоянии. Из термодинамики известно, что работа газа при постоянном давлении и изменяющемся объёме, будет определяться как [2]:

$$A = P \Delta V \quad (20)$$

Анализируя формулу 20, стоит отметить, работу газа возможно приравнять к его кинетической энергии. Для обоснования данной мысли, стоит рассмотреть непосредственно сам процесс. Увеличивая давление, молекулам газа сообщается дополнительное количество кинетической энергии, вследствие чего они начинают ускоряться и делают это до тех пор, пока энергетически не уравниваются с окружающими условиями, то есть не придут в состояние покоя. Фактически

мы имеем две ситуации для молекул в этот момент, это энергетический баланс и дисбаланс. В связи с этим, формулу 11 возможно адаптировать к рассматриваемой задаче.

Изначально по условию было определено, что энергия возмущения или взрыва константна, а вот давление и объем — изменяются. В связи с этим, возможно построить обратную зависимость из формул 20 и 19:

$$P = \frac{E_a}{V_a}, \text{ где:} \quad (21)$$

V_a — это объем фронта воздушной ударной волны воздействующей на объект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изложенный в данной статье подход к определению избыточного давления во фронте воздушной ударной волны, возможно окажется способным заполнить теоретические пробелы в работах М. А. Садовского. Разумеется, предложенный подход на данный момент всего лишь является теоретической моделью, фактически гипотезой которая требует дальнейших исследований в целях её подтверждения или опровержения. Однако в случае её подтверждения, прикладные задачи в области оценки последствий воздействия взрывов, получат методы решения, которые могут оказаться понятнее и точнее.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура повреждающих факторов и их параметры.
2. Квасников, И. А. Термодинамика и статистическая физика: Теория неравновесных систем / И. А. Квасников. — М.: УРСС, 2016. — 448 с.
3. Покровский Г. И. Взрыв 4-го издания и доп. М. Недра 1980, 190 с.
4. Садовский М. А. Механическое воздействие ударно-воздушных волн взрыва по данным экспериментальных исследований. Физика взрыва. Сб № 1. — 1952. — с. 20-110.